

## **Etude du fonctionnement hydrologique d'une tourbière basse du nord-est du Massif Central français : la Prenarde dans les Monts du Forez.**

PORTERET Jérôme, UMR CNRS 5600, CRENAM 6 rue Basse des Rives, 42023 St-Etienne cedex 2, : [jerome.porteret@univ-st-etienne.fr](mailto:jerome.porteret@univ-st-etienne.fr)

### **Résumé**

Les tourbières sont relativement abondantes sur les surfaces sommitales des massifs montagneux du nord-est du Massif Central (Cubizolle *et al.* 2004, Degorce 1995). Elles apparaissent principalement au dessus de 1000 m d'altitude. La surface totale de tourbières s'élève à 670 hectares dans les monts du Forez. Pourtant, si les tourbières du secteur ont été inventoriées et étudiées par les botanistes depuis plus d'une cinquantaine d'années (Dubois 1946, Francez 1992, Inst.Européen-D'ecologie 1981, Lemee 1941, Ministère Des Mines Et De L'industrie 1949) elles n'ont jamais fait l'objet d'étude hydrologique. Ainsi, pour combler cette lacune et répondre à une demande sociale forte concernant la gestion des ressources en eau, l'équipe du CRENAM a entrepris, depuis de juillet 2002, d'installer des équipements hydro-climatologiques sur 5 sites tourbeux. La tourbière basse de la Prenarde a été le premier site équipé. Aujourd'hui, les séries de données permettent de réaliser les premiers bilans de l'eau et de dégager les premières pistes pour expliquer l'hydrologie de la tourbière, sa dynamique et son rôle dans le fonctionnement du bassin versant.

### **Introduction**

Depuis une dizaine d'années, la gestion de la ressource en eau est devenue une question primordiale pour la société française. Après la multiplication des atteintes portées aux hydrosystèmes durant tout le XX<sup>ème</sup> siècle, on a pris conscience de l'impact des aménagements humains sur la qualité et la quantité des ressources naturelles (Fustec 1996). L'intérêt pour les zones humides et notamment les tourbières s'inscrit pleinement dans ce contexte d'évolution des sociétés occidentales.

Les travaux sur les tourbières traduisent bien cette évolution (Charman 2002, Ingram 1983, Joosten 1995, Joosten *et al.* 2002). Tout d'abord considérées comme des zones insalubres, elles ont fait l'objet d'études et de travaux pour l'amélioration des dispositifs de drainage (assèchement pour l'exploitation de tourbe, le boisement ou

l'agriculture)(Nys 1954, Ramaut 1953, Wickman 1951). Avec l'essor des techniques de datation par le radiocarbone, elles acquièrent un intérêt nouveau. Constituées de matière organique et assurant de bonnes conditions de conservation du pollen, elles deviennent un objet précieux pour les études paléoenvironnementales (Merryfield 1974, Moore 1975, Tolonen 1985, Van-Geel 1978).

Ce n'est que récemment que les tourbières sont devenues un objet d'étude à part entière (Payette *et al.* 2001). Différents travaux ont mis en évidence les fonctions remplies par ces écosystèmes complexes et fragiles. Parallèlement, les collectivités locales et organismes gestionnaires se sont intéressés à ces écosystèmes riches en espèces végétales remarquables (Cubizolle 2003). La mise en place de politiques de protection et de gestion de ces milieux naturels à créer une demande forte pour les scientifiques en terme de connaissances du fonctionnement hydrologique. En effet, les tourbières se sont vues attribuer de nombreuses fonctions hydrologiques bénéfiques pour les sociétés humaines : amortissement des crues et soutien d'étiage. Bien qu'ayant permis d'assurer la promotion des mesures de conservation auprès des élus et du public, ces fonctions n'en restent pas moins discutées, voire remises en cause, par les scientifiques (Bendjoudi *et al.* 2000, Fustec *et al.* 2000)

L'eau est l'élément moteur de la mise en place et du maintien des tourbières (Clymo 1991). Il faut rappeler ici que les conditions d'accumulation de la tourbe ne sont réunies que lorsque le bilan hydrique est positif ou nul. C'est à cette condition que le milieu devient anoxique, bloquant ainsi la décomposition de la matière organique. Toute la question est de savoir comment ces conditions d'humidité peuvent se maintenir tout au long de l'année. La tourbe est un matériel organique qui contient plus de 90 % d'eau. Si cette porosité intrinsèque peut en faire un formidable réservoir d'eau, il faut étudier la question de manière dynamique en s'intéressant aux variations du degré de saturation des tourbières. Il s'agit de comprendre comment l'eau circule au sein de la masse tourbeuse et s'intéresser aux vitesses de circulation de l'eau pour connaître la disponibilité de cette eau.

Ensuite, il s'agit d'appréhender l'impact de la présence de tourbières dans le fonctionnement des bassins versants. Le rôle des tourbières dans l'hydrologie des bassins versants est une question discutée par de nombreux auteurs. La diversité des situations, tourbières bombées, basses, de couverture, etc., ne favorise pas l'émergence d'un point de vue unanime. Longtemps présentées comme des « éponges » capables de soutenir les étiages et d'écarter les crues, il semble que certaines fonctions hydrologiques des tourbières aient été mal évaluées. La bonne connaissance des sites

doit apporter sur ce point des informations précieuses, d'autant que les relations hydrauliques entre les tourbières et leur bassin versant sont mal connues.

### **Un bassin versant tourbeux de moyenne montagne granitique**

Le bassin versant du Chantereine se situe dans la partie méridionale du vaste môle granitique des Monts du Forez. [fig-01] Situé en tête de réseau hydrographique de la Mare, entre 1240 et 1100 m d'altitude, il constitue l'un des affluents du fleuve Loire qu'il rejoint dans la plaine du Forez au niveau de Montrond-les-Bains. Le bassin versant du Chantereine occupe 85,4 hectares, couverts principalement par des surfaces boisées en sapin pectiné (*abiès alba* ; 82 %) mais également par des tourbières (17.5 %). On dénombre sept secteurs de tourbière dont le plus vaste est celui de la Prenarde (2 hectares et 2 m de tourbe).

### **Contexte géomorphologique**

Les paysages sont marqués par la succession de pentes fortes et de replats, liés à la présence d'escarpements de faille, d'orientation 20 °N, qui marquent la retombée orientale du massif. Le long de cette ligne de faiblesse se sont développés des alvéoles granitiques, dont les formes sont plus ou moins évoluées (Bellon 1980, Degorce 1995, Etlicher 1990, Labernardiere 1964). Le bassin versant du Chantereine correspond bien à ce contexte topographique. Le vallon de Chantereine, où le ruisseau éponyme prend sa source, s'étend sur 1 km suivant une orientation sud-est/nord-ouest qui est conforme à l'organisation régionale des lignes de faille. Ce vallon délimite un versant ouest large de 400 à 600, dont les pentes sont de l'ordre de 15%. La dissymétrie des versants est marquée puisque le versant est s'étend sur 50 à 250 m environ avec des pentes inférieure à 9 %. A l'aval du bassin versant, la vallée se resserre et le Chantereine s'encaisse à la faveur d'une brutale augmentation de la pente qui correspond à un talus de ligne de faille. Le contexte géomorphologique du bassin versant du Chantereine est bien représentatif du schéma général décrit par Godard pour le Massif Central et par (Etlicher 1986) pour les Monts du Forez. Les formations et modelés hérités des périodes froides sont issus de la dynamique périglaciaire. Sur les sommets des interfluves, le granite sain affleure sous forme de racine de tors. Il s'agit ici de granite à biotite. Sur les versants s'étend l'arène remaniée à blocs, qui recouvre les arènes quaternaires en place. Dans les fonds de vallon, un remplissage de matériel colluvial sablo-graveleux recouvre les arènes en place. Les profondeurs d'arènes sont très variables dans l'espace, mais toujours relativement faibles. Elles ne dépassent que très rarement 4 m d'épaisseur et n'excède pas 75 cm à 1 m sur les pentes moyennes à

fortes. Sur ces versants, les sols sont peu évolués. Ils se succèdent du haut vers le bas dans l'ordre suivant : ranker, sol ocre podzolique (discontinu), sol brun ocreux, reductisol et histosol. [fig-02]

### ***Tourbière de la Prenarde***

La tourbière de la Prenarde occupe sur près de 2 hectares un fond de vallée élargie dont l'exutoire part en direction de l'Est (coordonnées : N 45° 30' 06,13", E 3° 58' 18,19" - Lambert II étendue, X= 728795, Y= 2057082). Elle constitue un réceptacle des eaux de quatre ruisseaux qui drainent les zones humides situées à l'amont. La partie aval de la tourbière a été tronquée dans le cadre des travaux de terrassement réalisés pour la construction d'une route forestière. Il s'agit d'une tourbière basse boisée par des bouleaux (*betula alba*) sauf dans sa partie centrale où la sphaigne (*sphagnum palustre*, *angustifolium* et *terres*) est très active. Quelques buttes à *sphagnum magellanicum* semblent indiquer dans la partie sud-ouest de la tourbière une dynamique ombrothrophe.

La tourbière de la Prenarde a fait l'objet d'une étude stratigraphique poussée dans le cadre d'une importante étude paléo-environnementale sur le démarrage de la turfigène (Cubizolle). Des carottages ont été réalisés à intervalles réguliers (environ tous les 5 mètres) le long de deux profils, l'un dans l'axe longitudinal, l'autre dans l'axe latéral de la tourbière. La description des 66 carottes obtenues a permis de reconstituer une stratigraphie précise, complétée en 5 points, par des carottages au carottier à moteur. Les profondeurs de tourbe n'excèdent pas 2 m et sont en moyenne de 1.22 m. On peut estimer le volume de tourbe à 16000 m<sup>3</sup>. Les résultats font apparaître deux grands niveaux de tourbes, l'un fibrique, l'autre mesique. A cela s'ajoute quelques poches de tourbe fine très minérale (sablo argileuse) au contact avec l'arène de ruissellement sablo-graveleuse qui constitue le substrat (1.5 m d'épaisseur). Les datations radiocarbone de la base de la tourbière s'étalent entre 190 ± 90 BP (LY-10325) à 5235 ± 65 BP (LY-10330).

### **Equipement du bassin versant**

L'eau est l'élément moteur de la mise en place et du maintien des tourbières. Il est donc nécessaire de quantifier les différents flux d'eau qui circulent dans la tourbière mais aussi dans le bassin versant. Or, les paramètres hydroclimatiques des têtes de bassin versant de moyenne montagne sont très mal connus. Les postes des grands réseaux de mesure météorologiques et hydrométriques y sont très rares. Bien que le massif du Forez culmine à 1634 m, il y a peu de postes météorologiques au dessus de

1000 m. [fig-03] Les données hydrométriques pour les têtes de bassin versant sont inexistantes.

Le choix d'équiper le bassin versant du Chantereine à pour objectif d'être représentatif des têtes de bassin versant tourbeux forestier que l'on trouve dans la partie méridionale du massif. Nous avons équipé le site d'étude avec différents appareils permettant de mesurer les paramètres hydrométéorologiques du bassin versant, afin d'établir le bilan de l'eau. [fig-04]

Nous avons tout d'abord procédé à l'installation d'une station météorologique en suivant les normes utilisées par Météo France. La mise en route de la station a été effectuée le 01 juillet 2002, au lieu dit de la Prenarde-Pifoy. Située sur un versant exposé à l'Est au cœur de la tourbière qui constitue une clairière dans l'environnement forestier, elle enregistre les précipitations, les températures, l'hygrométrie, la radiation solaire et l'insolation. L'ensemble du matériel est de marque Précis mécanique [tab-01].

- Un pluviomètre avec surface réceptrice de 2000 cm<sup>2</sup> combiné à un pluviographe à auget basculeur de type 3020.
- Un thermo-hygrographe à mécanisme d'horlogerie situé à 1.5 m du sol sous abri standard.
- Un albédomètre CM7B, constitué de deux pyranomètres inversés, qui mesure en W/m<sup>2</sup> la radiation solaire directe et la radiation solaire réfléchi par la surface de la tourbière.
- Un capteur de durée d'insolation CSD3 (lorsque la radiation solaire est supérieure à 120 W/m<sup>2</sup>).
- Enfin, un anémomètre APM 22 (1 tour par m/s<sup>1</sup>), situé à 2 m de hauteur.

Pour connaître les débits à l'exutoire du bassin versant, une station hydrométrique a été mise en place depuis le 01 septembre 2003. Elle se situe dans un chenal de 2.5 mètres de large et de 1 m profondeur.

- Un limnigraphe à flotteur couplé à un codeur limnimétrique (Thalimède, OTT) mesure les hauteurs d'eau. L'appareil est installé dans un puit de tranquillisation en PVC pour éviter toutes erreurs de mesure liées aux turbulences des écoulements.

Depuis septembre 2002, la mesure des niveaux de la nappe est effectuée dans la tourbière et sur son pourtour. La mesure est réalisée manuellement dans des piézomètres en PVC de 50 mm de diamètre. Sur le site on compte actuellement 20 piézomètres. Nous ne nous présenterons ici que les piézomètres 1 à 12 qui ont été installés à l'origine et pour lesquels les séries de données sont les plus longues .

- Les piézomètres 1 à 6 se répartissent de l'amont vers l'aval dans le sens longitudinal de la tourbière, suivant un axe Sud-Ouest / Nord-Est (247°N / 29°N).
- Dans le sens transversal, suivant un axe Sud-Est / Nord-Ouest (330°N / 140°N), sont installés les piézomètres 7 à 12.

Seuls les piézomètres 1 et 12 ne sont pas dans la tourbière. Le piézomètre 1 est installé dans un sol de type brun ocreux de 120 cm d'épaisseur, reposant sur l'arène à blocs. Le piézomètre 12 est installé dans un anthroposol de 75 cm d'épaisseur sur colluvions et arène remaniée à blocs. Tous les autres piézomètres sont installés dans la tourbe. Les piézomètres 3, 4, 5, 6, 8 et 9. Pour tous ces piézomètres la stratigraphie est semblable avec un niveau tourbe blonde fibrique en surface, puis un niveau de tourbe brune mésique qui prend place sur une arène de ruissellement qui colmate tout le fond de vallon. Seules les épaisseurs de ces deux horizons tourbeux varient d'un piézomètre à l'autre. Pour les piézomètres 2 et 10, le niveau à tourbe blonde est absent. L'épaisseur de tourbe est d'une cinquantaine de centimètres. Le piézomètre 7 représente un secteur de la tourbière évoluée avec un horizon de surface minéralisé surmontant la tourbe brune mésique. Enfin, à la base du versant Ouest, le piézomètre 11 prend place dans un horizon tourbeux d'une soixantaine de centimètres. Le suivi est bimensuel, mais la fréquence des relevés a pu être augmentée pour mieux rendre compte de certains épisodes particuliers. Pour affiner l'analyse à des pas de temps plus courts, deux piézomètres de 120 mm de diamètre équipés avec des codeurs piézométriques à flotteur (Thalimède, OTT) ont été installés en août 2005 et mars 2006.

L'équipement de la tourbière de la Prenarde participe à la mise en place d'un réseau de sites pour le suivi environnemental des tourbières dans le Nord-Est du Massif Central (cinq sites sont aujourd'hui équipés). Cette démarche s'inscrit dans différents programmes de recherche, dont le programme d'étude des tourbières Rhône-Alpines, et bénéficie du soutien financier du conseil général de la Loire, du conseil Régional Rhône Alpes, de l'Agence de l'eau Loire Bretagne et de la Zone Atelier CNRS « Bassin versant de la Loire ».

### **Bilan des données 2002 - 2005**

Après plus de trois années d'enregistrement, il est possible de faire un premier bilan des données collectées. L'installation des appareils de mesure s'étant étalée sur toute cette période, nous disposons des plus longues séries d'enregistrements pour la pluviométrie, les températures, la piézométrie et les débits. [tab-02]

Les données concernant la radiation solaire, l'ensoleillement et le vent sont encore insuffisantes et parcellaires pour établir de véritables bilans.

### ***Variables climatiques : précipitations et températures***

Pour caractériser la tendance climatique de la période 2003 - 2005, nous allons étudier les valeurs enregistrées à la station de Prabouré (1260 m, Lambert II Etendu : X= 719.8 km, Y= 2063.5 km – mise en route en 1991) [fig-03].

Intéressons nous dans un premier temps aux précipitations. Si l'on compare la moyenne des précipitations 2003 – 2005, avec la moyenne des précipitations sur les 15 dernières années, on constate que les années 2003 à 2005 ont été parmi les plus sèches de la période avec une moyenne 2003-2005 de 1247 mm, contre 1442 mm sur 15 ans. Dans le détail, l'année 2003 a été la plus sèche des 15 dernières années, alors que les années 2004 et 2005 arrivent respectivement aux troisième et cinquième rang des années ayant le plus faible total pluviométrique. Toutefois, l'analyse des totaux pluviométriques mensuels montre que la période a été relativement contrastée avec des sécheresses importantes, mais également des mois avec de forts totaux pluviométriques. Ainsi, la sécheresse du printemps et de l'été 2003 s'est traduite par des totaux pluviométriques de moitié inférieurs aux moyennes mensuelles entre mars et septembre. Le déficit s'élève à 330 mm au total sur ces 7 mois. A contrario, l'année 2004, avec 390 mm de précipitations durant les mois de juillet et août a connu l'été le plus arrosés des 15 dernières années et en raison d'orages très violents.

Le bilan des températures de la période 2003 – 2005 est également contrasté. Si l'année 2003 a été relativement chaude avec une moyenne annuelle de 7.5 °C, 2005 a été l'année la plus froide de la décennie avec une moyenne de 5.7°C. Ainsi, 2003 est marquée par les records de températures maximales. Les températures moyennes mensuelles sont les plus chaudes de la décennie pour les mois d'avril, juin, août et septembre. L'année 2004 est marquée par un printemps très froid avec les températures moyennes mensuelles les plus froides de la décennie en mars et mai. Enfin, 2005 se caractérise par la fraîcheur de l'été, avec la moyenne mensuelle du mois d'août la plus basse des dix dernières années, et la rudesse de l'hiver, au cours duquel les températures moyennes mensuelles de février et de décembre ont été les plus basses des dix dernières années.

Après cette analyse préalable des valeurs de la station de Prabouré, on peut donc affirmer que les données de la Prenarde, pour les années 2003 à 2005, correspondent à des années bien contrastées où alternent des périodes sèches / humides et des périodes

chaudes / froides. Tout en étant représentatives du contexte climatique local, ces trois années ont vu se succéder des situations météorologiques typiques propices à l'étude du fonctionnement hydrologique des bassins versants : importante sécheresse estivale, fortes précipitations d'automne, hiver très enneigé, etc.

Le total moyen annuel des précipitations sur la période 2003 - 2005 est de 1001 mm, (976 mm en 2003, 1160 mm en 2004 et 866 mm en 2005). On dénombre près de 125 jours avec de précipitations supérieures à 1 mm. Ces valeurs correspondent bien au contexte climatique du massif, décrit par les différents travaux menés sur la question (Estienne 1952, Serre 2001, Staron 1993, Suchel 1990). Marquées par les influences océaniques venant de l'ouest, les précipitations sont supérieures à 1000 mm/an en altitude. Leur répartition au cours de l'année est assez homogène si l'on observe les totaux mensuels moyens sur 15 ans. Toutefois, la réalité nous apparaît plus complexe, avec une grande variabilité interannuelle de la répartition des précipitations. [fig-05]. Il peut y avoir différents maximums : en fin de printemps (mai – juin), en été avec de violents orages, à l'automne lorsque les épisodes Cévenoles sont assez puissants pour passer la barrière montagneuse du Pilat ou en hiver lors de fortes chutes de neige. Ainsi, à la Prenarde, si c'est le mois de novembre 2002 qui a été le plus arrosé (204 mm), les mois d'août et octobre 2004 (177.5 et 189.5 mm) ou de décembre 2003 (184.6 mm, dont 130 mm en 48 heures les 1 et 2 décembre) ont également été parmi les plus humides. A l'inverse les mois les plus secs ont été les mois de mars et septembre 2003 (27 et 46.1 mm) et de juillet et août 2005 (34.2 et 44.3 mm). [fig-06]. Une partie non négligeable de ces précipitations tombent sous forme neigeuse. En moyenne, on compte près de 70 jours avec neige au sol. Toutefois, l'enneigement est souvent discontinu tant dans le temps que dans l'espace pour ces altitudes.

La température moyenne annuelle se situe autour de 6°C. Cette valeur traduit mal les écarts entre une température maximale instantanée de 31.3°C (le 13 août 2003) et une température minimale instantanée de -22,3°C (le 01 mars 2005). Le mois le plus chaud en juillet ou août atteint une température moyenne de 15°C, alors que le mois le plus froid en janvier ou février à une température moyenne de -3°C. Au total, on compte deux à trois mois avec une température moyenne mensuelle inférieure à 0°C. La rudesse du climat se traduit également par la fréquence des gelées qui peuvent se produire jusqu'en mai, voir parfois jusqu'en juillet ou en août. Le nombre de jours avec gel est d'environ 150 (149 en 2003, 154 en 2004, 145 en 2005) et le nombre de jours sans dégel atteint la cinquantaine. Si les gelées peuvent se produire en été (ex : -1.4°C le 9 août 2005), cette saison reste assez chaude, ce qui se traduit par une amplitude



thermique qui peut atteindre 20°C (22.8°C le 27 août 2003). On note un décalage des conditions climatiques avec les saisons cosmiques. En effet, l'automne est relativement doux, alors que le l'hiver empiète largement sur le printemps. Le mois d'avril est plus froid que le mois de novembre et le mois de mai est plus froid que le mois d'octobre.

Ces trois années, qui sont bien représentatives des conditions climatiques locales, s'avèrent particulièrement propices à l'étude du fonctionnement hydrologique de la tourbière de la Prenarde. En effet, les forts contrastes thermiques et pluviométriques doivent permettre de faire apparaître ou non la sensibilité de la tourbière aux conditions climatiques actuelles.

### ***Piézométrie***

Le réseau de piézomètres installé sur le site de la Prenarde a permis d'obtenir des données inédites pour le Nord-Est du Massif Central. Il s'agit de 99 relevés de profondeur de la nappe d'eau, étalés entre septembre 2002 et décembre 2005, pour les différents piézomètres. Cela représente, en moyenne, un relevé tous les 13.5 jours. Toutefois, leur répartition n'est pas aussi régulière. On observe la distribution saisonnière suivante : 13 relevés l'hiver, 26 au printemps, 29 l'été et 31 à l'automne. Le faible nombre de relevé durant l'hiver peut s'expliquer par les conditions difficiles d'accès aux piézomètres (couvert par la neige). Toutefois, ce faible nombre de relevés n'affecte pas la compréhension du fonctionnement hydrologique, car l'hiver est une période de relative stabilité des niveaux piézométriques et nous le montrerons plus loin.

Il n'y a pas d'uniformité des niveaux piézométriques moyens sur l'ensemble de la période. Ainsi, la profondeur moyenne de la nappe d'eau dans le piézomètre 5 est de 0.9 cm, alors qu'il est de 28.3 cm pour le piézomètre 10 et 17 cm pour le piézomètre 2. De même l'amplitude maximale des variations du niveau d'eau peut être très faible dans certains secteurs de la tourbière (20 cm pour P8) et très forte dans d'autres (71 cm pour P3). Une analyse graphique des données des piézomètres 1 à 12, pour lesquels nous possédons les plus longues séries d'enregistrements, permet d'améliorer la compréhension du fonctionnement piézométrique du site. Il s'agit de mettre en relation les niveaux d'eau mesurés dans les différents piézomètres [fig-07]. La forme du nuage de points obtenue nous indique si les niveaux d'eau sont en relation ou non. On observe quatre types de nuages de points :

- tout d'abord, les piézomètres dont le nuage de points fait apparaître une relation de type exponentielle (P1, P10 et P12). Cette relation traduit un décalage dans la chute des niveaux piézométriques. Prenons l'exemple de la relation entre les niveaux d'eau des

piézomètres 10 et 12. On lira le graphique de la manière suivante : alors que le niveau d'eau de P12 chute, le niveau de P10 reste proche de la surface ; lorsque le niveau de P12 atteint -70cm, le niveau de P10 commence à chuter. Compte tenu de la localisation de ces deux piézomètres, cela traduit le gradient d'humidité sur le versant nord-est lors de la baisse du niveau de la nappe.

- ensuite, les piézomètres dont les niveaux sont bien corrélés, puisqu'ils s'alignent suivant une droite (le long de la diagonale du graphique). Il s'agit des piézomètres 2, 3, 4, 6 et 9. Installés dans la tourbière, ils illustrent le fonctionnement uniforme d'une grande partie de la tourbière. Toutefois, on peut déceler dans l'inclinaison des nuages de points des différences dans la sensibilité des piézomètres aux variations de la nappe.

- le piézomètre 7 traduit une situation plus complexe. En effet, il semble que le nuage de points traduise deux types de relations différentes qui apparaissent clairement en s'intéressant aux variations saisonnières des niveaux piézométriques. [fig-08] Sur les graphiques saisonniers de la relation entre le piézomètre 7 et les piézomètres 3, 4 et 6, représentatifs de la partie centrale de la tourbière, le nuage de point diffère d'une saison à l'autre. En hiver, le niveau de P7 n'est pas en relation avec ceux de P3, P4 ou P6. Une relation apparaît au printemps, mais les niveaux piézométriques restant élevés, elle reste peu marquée. C'est durant, l'été et l'automne qu'elle est la plus nette. En été, elle est proche de la relation linéaire que l'on trouve dans la partie centrale de la tourbière. En automne, la forme du nuage de point est plutôt de type exponentiel, comme on l'observe pour la bordure nord-est de la tourbière. Le fonctionnement du secteur de P7, c'est-à-dire la partie de la tourbière la plus évoluée (Buttes à *Sphagnum magellanicum* et *Vaccinium oxycoccos*), apparaît donc bien comme le fruit de plusieurs dynamiques saisonnières.

- enfin, les piézomètres pour lesquels le niveau d'eau est indépendant de celui mesuré dans les autres piézomètres (P5, P8 et P11) et ce quelles que soient les saisons. Les niveaux sont quasiment constants toute l'année (proche de la surface pour P5 et P8 et vers -55 cm pour P11) et ne sont pas soumis aux fluctuations qui touchent les autres piézomètres.

Il apparaît donc que sur le site, dans la tourbière et sur son pourtour, il existe différents comportements piézométriques. [fig-09] Au cœur de la tourbière, le niveau d'eau est toujours proche de la surface. Le niveau d'eau ne s'abaisse que durant la saison végétative, de mai à fin octobre (exemple : P6 et P9). Dans la partie nord-est, au contact d'un versant peu développé, le niveau de la nappe, qui est proche de la surface durant la période hivernale, décroche dès le mois d'avril pour ne remonter qu'au début

de l'hiver (P1 et P12). Enfin, à la base du versant ouest, le niveau d'eau de la nappe est constant, puisqu'il reste stable toute à l'année vers 55 cm de profondeur (P11).

### **Débits à l'exutoire**

Concernant les débits à l'exutoire, seule l'année 2004 est complète (pour des raisons techniques, il y a une lacune de près d'un mois dans les données de 2005). La construction de la courbe de tarage, qui permet d'établir la relation entre les hauteurs d'eau et les débits, est une opération longue qui nécessite de nombreux points de calage. Bien que la courbe de tarage du Chantereine doive encore être affinée pour les débits supérieurs à  $50 \text{ l.s}^{-1}$ , il est possible de faire une première synthèse des données d'écoulement à l'exutoire du bassin versant.

Il s'agit de données inédites pour le Nord-Est du Massif Central. Il est donc difficile d'avoir un point de comparaison pour juger de la validité des données. Toutefois, la mise en relation des débits mesurés à la Prenarde avec ceux enregistrés par la station hydrométrique de Vérines, 17 kilomètres plus à l'aval sur la Mare, fait apparaître une bonne correspondance [fig-10]. Essayons de caractériser la période 2003 – 2005, qui nous concerne, en relevant quelques événements hydrologiques marquants. Nous, utilisons pour cela les données et synthèses de la banque HYDRO (Banque de données nationale pour l'hydrométrie et l'hydrologie- <http://hydro.rnde.tm.fr> ). Ainsi, on note que le débit maximal instantané depuis l'installation de la station en 1970 a été enregistré le 02 décembre 2003 ( $42.2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  pour un débit journalier de  $28 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ). L'année 2004 a enregistré des débits importants pendant l'hiver et le début du printemps, ainsi que durant les mois d'août, octobre et novembre. A contrario, l'automne 2003, mais également l'été et l'automne 2005 sont marqués par des débits très faibles (inférieurs à la moyenne mensuelle des débits minimums sur 36 ans entre octobre et décembre 2005). La période apparaît très contrastée avec des crues très importantes et des étiages sévères. A la Prenarde, le débit moyen sur la période est de l'ordre de  $21.5 \text{ l.s}^{-1}$ , pour une hauteur d'eau de 11 cm. Le débit journalier maximum s'élève à  $297 \text{ l.s}^{-1}$  (02 décembre 2003) pour une hauteur d'eau de 50.4 cm.

### **Fonctionnement hydrologique du site**

Afin de mesurer l'impact de la tourbière de la Prenarde sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Chantereine, nous avons confronté les différents paramètres hydro-climatologiques. Pour cela, nous avons mis en relation les niveaux d'eau des différents piézomètres avec le total des précipitations, de l'évapotranspiration

ou des écoulements entre deux relevés. Nous avons également testé ces relations en utilisant différents pas de temps (total à J-1, J-2, J-3, J-5).

Concernant les précipitations, il s'agit d'étudier la sensibilité de la nappe de la tourbière aux apports d'eau atmosphérique. C'est sur les graphiques, représentant les variations du niveau d'eau entre deux relevés et le total des précipitations du ou des deux jours précédents le relevé durant l'été et l'automne, que l'on obtient les meilleurs résultats. En effet, durant l'hiver et le printemps, le niveau de la nappe affleure et les précipitations n'ont aucun impact sur la variation des niveaux piézométriques. L'été, la partie supérieure non saturée de la tourbière possède une capacité de stockage de l'eau atmosphérique d'autant plus importante que le niveau de la nappe est bas. Par conséquent, durant cette période, la sensibilité de la nappe aux précipitations est forte. Toutefois, le niveau de la nappe n'est pas directement lié aux précipitations, puisqu'il n'y a pas de relation entre les niveaux d'eau mesurés et les totaux pluviométriques (cette relation existe pour l'automne). Les piézomètres situés en bordure de la tourbière (P1 et P12) montre un comportement légèrement différent, puisque les graphiques font apparaître des relations plus marquées au pas de temps J-5. On peut en déduire que, dans ce cas, le niveau de la nappe varie plus particulièrement lorsque le total des précipitations devient important (ce qui est plus fréquemment le cas lorsque l'on utilise le total des précipitations à J-5). De plus, n'étant que rarement à saturation durant l'hiver et le printemps, ils réagissent assez bien aux précipitations durant cette période. [fig-11a] Les observations concernant l'évapotranspiration correspondent globalement à l'inverse de celles faites pour les précipitations. Toutefois, c'est un phénomène saisonnier, qui dans notre secteur de moyenne montagne, démarre véritablement à la fin du printemps et s'arrête à la fin de l'automne. D'autre part, contrairement aux précipitations qui sont aléatoires dans le temps, l'évapotranspiration est un phénomène plus régulier. C'est pour cette raison que le pas de temps ne semble pas avoir une grande incidence pour l'observation des relations. On note également que les relations apparaissent plus clairement avec le niveau d'eau lors du relevé qu'avec la variation entre deux relevés. On constate donc pour la majorité des piézomètres que, durant l'automne, il y a une forte relation entre une évapotranspiration importante et des niveaux de la nappe bas. Pour l'été, les nuages de points ne font pas apparaître de relation équivalente. En bordure de tourbière (P1, P10 et P12) ou dans la partie la plus évoluée de la tourbière (P7), où l'amplitude des fluctuations de la nappe est la plus forte, on observe cette relation durant le printemps et l'automne. L'été le niveau d'eau s'abaisse trop pour rendre la nappe directement sensible à l'évapotranspiration. [fig-

11b] Au pied du versant nord-est, en bordure de la tourbière (P1, P10 et P12) une relation entre les niveaux piézométriques et les débits à l'exutoire apparaît et ce, quelle que soit la saison. Cela traduit ici l'alimentation du ruisseau de Chantereine par la nappe de versant. La tourbière n'alimente pas directement le ruisseau, car la disponibilité de l'eau pour l'écoulement est faible en raison de vitesses de circulation de l'eau dans la tourbe très lentes. Dans la tourbière, seule l'automne semble être une période où les niveaux de nappe peuvent être reliés aux débits. Le piézomètre 7 est toutefois l'exception, mais la présence de drains à proximité peut expliquer cette meilleure relation entre débits et niveaux de nappe. [fig-11c]

Les résultats obtenus s'inscrivent dans le modèle de fonctionnement hydrologique des tourbières proposé par Ingram (Ingram 1982, 1978). Ce modèle proposé à partir de l'étude de tourbières bombées fait se superposer deux niveaux aux caractéristiques hydrologiques bien différentes. On parle de structure diplotelmique. La partie supérieure correspond à la zone de fluctuation de la nappe. Elle n'est saturée en eau que périodiquement et est appelée acrotelme. La couche inférieure, appelée catotelme, est saturée en eau en permanence. La limite entre ces deux couches est donc définie par le plus bas niveau atteint par la nappe. A la Prenarde, le catotelme représente un volume de près de  $75000 \text{ m}^3$ , avec une épaisseur variant entre 20 et 60 cm. La tourbe étant constituée à plus de 88 % d'eau (2 à 10 % de matière sèche et 1 à 7 % de gaz – (Ivanov 1981)), le catotelme peut avoir une fonction de stockage importante. Mais, toute l'eau contenue dans les pores ne peut se déplacer librement. Il existe donc une partie de l'eau qui est piégée dans les pores et n'est pas disponible pour les écoulements. Si l'on considère donc une porosité efficace de 30 %, la capacité de stockage représente une lame d'eau d'environ 30 mm, lorsque le niveau de la nappe est au plus bas [tab-03]. De plus, si l'on regarde la question de manière dynamique, on constate que la capacité de stockage est forte en été lorsque les totaux pluviométriques sont faibles. A contrario, lors des importants épisodes pluvieux de l'automne et de l'hiver, les niveaux de la nappe sont proches de la surface et la capacité de stockage de l'acrotelme est faible. D'autre part, lorsque l'intensité des précipitations est forte, une partie de l'eau ne peut s'infiltrer dans la tourbe du fait de la faible conductivité hydraulique. Elle alimente alors le ruissellement de surface. La conductivité hydraulique de l'acrotelme à la Prenarde est de l'ordre de  $2.5 \cdot 10^{-04} \text{ cm.s}^{-1}$  (soit une vitesse de circulation de l'eau de l'ordre de 21 cm par jour), conforme aux valeurs que l'on trouve dans la littérature internationale (Baird 1997, Beckwith *et al.* 2003a, 2003b, Boelter 1965, Chason 1986, Clymo 2004, Dai 1973, Eggelsmann 1975, Holden 2003, Loxham 1986, Romanov *et*

al. 1975). La conductivité hydraulique du catotélme est de  $3.5 \cdot 10^{-05} \text{ cm.s}^{-1}$  (3 cm par jour). Ces valeurs décroissent de la surface vers la base de la tourbe. La conductivité hydraulique dépend de la compaction de la tourbe, de son niveau de décomposition et de la nature des végétaux qui la composent. Le niveau basal des tourbières se comporte comme une couche quasi imperméable. Il s'agit de savoir quelles sont les relations entre la nappe d'eau contenue dans la tourbe et celle du substrat sous-jacent. Si Ingram met en avant la composante horizontale des écoulements dans la tourbe au dessus d'un horizon basal quasi imperméable, Siegel et Reeve montrent que la composante verticale des écoulements dans la tourbe, à travers l'horizon basal à faible perméabilité, ne doit toutefois pas être négligée (Reeve 2000, Siegel 1987, 1988).

### **Bilan**

Seul l'acrotélme a la capacité d'absorber les flux d'eau, avec une capacité qui est variable au cours de l'année hydrologique. C'est donc cet horizon peu épais qui détermine en grande partie le rôle des tourbières dans le fonctionnement hydrologique des bassins versants. Or, les résultats des analyses, présentés plus haut, montrent que le fonctionnement de la tourbière reste relativement isolé du reste du bassin versant. Les niveaux de la nappe correspondent à une combinaison complexe entre les apports d'eau des précipitations, les pertes par l'évapotranspiration et les mouvements d'eau dans la tourbe. Pour cette raison, il n'y a pas de relations claires entre les précipitations ou l'évapotranspiration et les niveaux de la nappe. On peut faire la même constatation avec les écoulements de surface. La capacité d'amortissement des crues, potentiellement importantes, reste limitée. L'eau contenue dans la tourbe ne peut assurer le soutien des écoulements en situation d'étiage. Les tourbières n'auraient-elles aucun rôle sur le fonctionnement hydrologique de nos têtes de bassin versant ? La réponse est à chercher dans les modifications qu'elles entraînent dans la circulation de l'eau de la nappe contenue dans les arènes. De part ses caractéristiques hydrauliques (faible vitesse de circulation de l'eau dans la tourbe) et sa position en fond de vallon, la tourbière de la Prenarde constitue un véritable verrou. En freinant les écoulements de la nappe contenue dans les arènes, elle permet le maintien d'un niveau d'eau constant à la base du versant (exemple du piézomètre 11). La description de ce phénomène et la quantification de l'impact de la tourbière doivent encore être affinées.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CUBIZOLLE H., SACCA C., TOURMAN A. and PORTERET J.,** 2004 - Les tourbières du haut bassin versant de la Loire (Massif Central Oriental) : Intérêts paléoenvironnemental et phytocénotique, enjeux socio-économiques. *Noroi*, 192 (3), p. "95;115".
- DEGORCE J. N.,** 1995 - *Les milieux humides dans la Loire*. St Etienne, 377 p.
- DUBOIS G.,** 1946 - Quelques tourbières de la montagne de la Madeleine. *Extrait du bulletin de la société géologique de France*, 5 (XVI), p. "643;658".
- FRANCEZ A. J.,** 1992 - The peatlands in France: localization characteristics use and conservation. *Suo*, 43 p. "11;24".
- Inst.Européen-d'Ecologie,** 1981 - *Inventaire des tourbières de France, région Auvergne*. Ministère de l'environnement, p.
- LEMEÉ G.,** 1941 - Recherches sur l'évolution post-glaciaire de l'auvergne : II. Analyse pollinique d'une tourbière des bois Noirs. *Revue des Sciences naturelles d'Auvergne*, 7 p. "40;49".
- Ministère des mines et de l'industrie,** 1949 - Inventaire des tourbières de France. p.
- FUSTEC E.,** 1996 - *Les fonctions et valeurs des zones humides*. Laboratoire de Géologie appliquée- Paris VI, Lab. Ecologie-Dijon, 134 p.
- CHARMAN D.,** 2002 - *Peatlands and environmental changes*. London, 301 p.
- INGRAM H. A. P.,** 1983 - *Mires swamp, bog, fen dans moor*, Amsterdam, p.
- JOOSTEN H.,** 1995 - The golden flow : the changing world of international peat trade. *GRUNERIA*, Trondheim, 269 p.
- JOOSTEN H. and CLARKE D.,** 2002 - *Wise use of mires and peatlands*. 303 p.
- NYS L.,** 1954 - La capacité pour l'eau et le pH des tourbières bombées. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 77 p. "289;296".
- RAMAUT J.,** 1953 - Etude de la perméabilité de la tourbe à l'eau. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 22 p. "481;495".
- WICKMAN F. E.,** 1951 - The maximum height of raised bogs and a note on the motion of water in soligenous mires. *Geol. Fören. Förhandhl*, 73 p. "413;422".
- MERRYFIELD D. L.,** 1974 - Prehistoric human activity and blanket peat initiation on Exmoor. *Nature*, 250 p. "439;441".
- MOORE P. D.,** 1975 - Origin of blanket mires. *Nature*, 256 p. "267;269".
- TOLONEN M.,** 1985 - Paleocological record for local fire history from peat deposit in S.W. Finland. *Annales Botanici Fennici*, 22 p. "15;29".
- VAN-GEEL B.,** 1978 - A palaeoecological study of holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 p. "1;120".
- PAYETTE S. and ROCHEFORT L.,** 2001 - *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador*. 621 p.
- CUBIZOLLE H.,** 2003 - Synthèse de l'atelier n°2 : Quel rôle joue les tourbières dans le fonctionnement hydrologique des bassins versants. *Quatrième journée d'échanges techniques entre gestionnaires d'espaces naturels de Rhone Alpes - vers une stratégie de préservation des tourbières*, p.
- BENDJOUDI and MARSILLY,** 2000 - Le fonctionnement hydrologique des zones humides. *Fonctions et valeurs des zones humides*, Paris, 61 : 81 p.
- FUSTEC and LEFEUVRE,** 2000 - *Fonctions et valeurs des zones humides*. Paris, 426 p.
- CLYMO R. S.,** 1991 - Peat growth. *Quaternary Landscapes*, p. "76;112".
- BELLON F.,** 1980 - *La géologie de la Loire*. St Etienne, 160 p.
- ETLICHER B.,** 1990 - Les Monts du Forez : une montagne ? *Les Monts du Forez, le milieu et les hommes*, St Etienne, "17;34" p.
- LABERNARDIERE H.,** 1964 - Etude géologique de la partie méridionale des Monts du Forez. *Revue des Sciences naturelles d'Auvergne*, 30 (1\_4), p. "41;75".

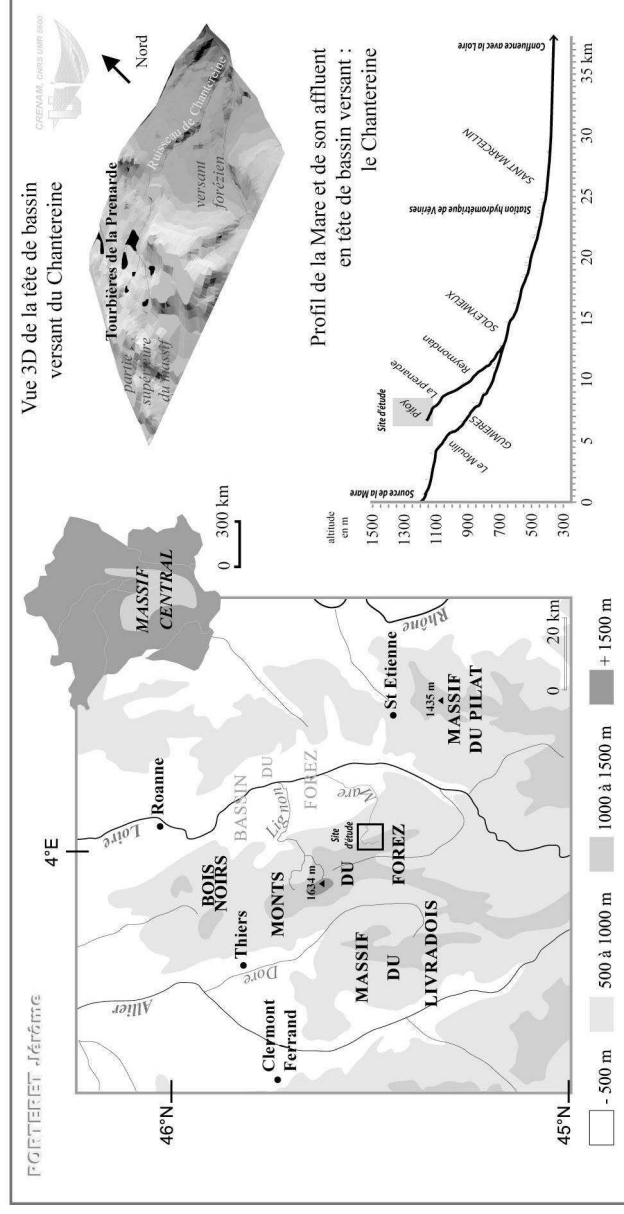
- ETLICHER B.**, 1986 - *Les massifs du Forez, du Pilat et du Vivarais, régionalisation des héritages glaciaires et périglaciaires en moyenne montagne cristalline*. Université de St Etienne, 685 p.
- CUBIZOLLE H.**, , inédit - *Paléoenvironnement et turfigénèse - L'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif Central oriental granitique*. Université de Limoges, UMR 6042, 750 p.
- ESTIENNE P.**, 1952 - *Recherche sur le climat du Massif central*. Paris, 242 p.
- SERRE F.**, 2001 - *"La neige dans le Massif Central ; une contrainte pour la gestion des territoires"*. Clermont Ferrand, 200 p.
- STARON G.**, 1993 - *L'hiver dans le Massif Central*. Université de St Etienne, 403 p.
- SUCHEL J. B.**, 1990 - *Le climat des Monts du Forez. Les Monts du Forez, le milieu et les hommes*, St Etienne, "81;98" p.
- INGRAM H. A. P.**, 1982 - Size and shape in raised mire ecosystems : a geophysical model. *Nature*, 297 p. "300;303".
- INGRAM H. A. P.**, 1978 - Soils layers in mires : function and terminology. *Journal of Soil Sciences*, 29 p. "224;227".
- IVANOV K. E.**, 1981 - *Water movement in mirelands*. London, 276 p.
- BAIRD A. J.**, 1997 - Field estimation of macropore functioning and surface hydraulic conductivity in a fen peat. *Hydrological processes*, 11 p. "287;295".
- BECKWITH C. W., BAIRD A. J. and HEATHWAITE L.**, 2003a - Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. *Hydrological processes*, 17 p. "89;101".
- BECKWITH C. W., BAIRD A. J. and HEATHWAITE L.**, 2003b - Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. II: modelling the effects on groundwater flow. *Hydrological processes*, 17 p. "103;113".
- BOELTER D. H.**, 1965 - Hydraulic conductivity of peats. *Soil Science*, 100 p. "227;231".
- CHASON D. B.**, 1986 - Hydraulic conductivity and related physical properties of peat, Lost River Peatland, Northern Minnesota. *Soil Science*, 142 p. "91;99".
- CLYMO R. S.**, 2004 - Hydraulic conductivity of peat at Ellergower Moss, Scotland. p.
- DAI T. S.**, 1973 - Measurement of hydraulic conductivity of peats. *Can. J. Soil Sci.*, 53 p. "21;26".
- EGGELSMANN R.**, 1975 - The water balance of lowland areas in north-western regions of F.R.G. *Hydrology of Marsh-Ridden Area Symposium Proc.*, Paris, 137 p.
- HOLDEN J.**, 2003 - Hydraulic conductivity in upland blanket peat : measurement and variability. *Hydrological processes*, 17 p. "1227;1237".
- LOXHAM M.**, 1986 - Saturated and unsaturated Permeabilities of North German Peats. *Peat and Water*, p. "37;59".
- ROMANOV V. V., PAVLOVA K. K., KALYUZHNY I. L. and VOROBIEV**, 1975 - Hydrophysical investigations of bogs in the USSR. *Hydrology of Marsh-Ridden Area Symposium Proc.*, Paris, 77-83 p.
- REEVE A. S.**, 2000 - Simulating vertical flow in large peatlands. *Journal of Hydrology*, 227 p. "207;217".
- SIEGEL D. I.**, 1987 - Groundwater flow in a bog-fen complex, Lost River Peatland, Northern Minnesota. *Journal of ecology*, 75 p. "743;754".
- SIEGEL D. I.**, 1988 - *A review of the discharge-recharge function of wetland*. Portland, p.



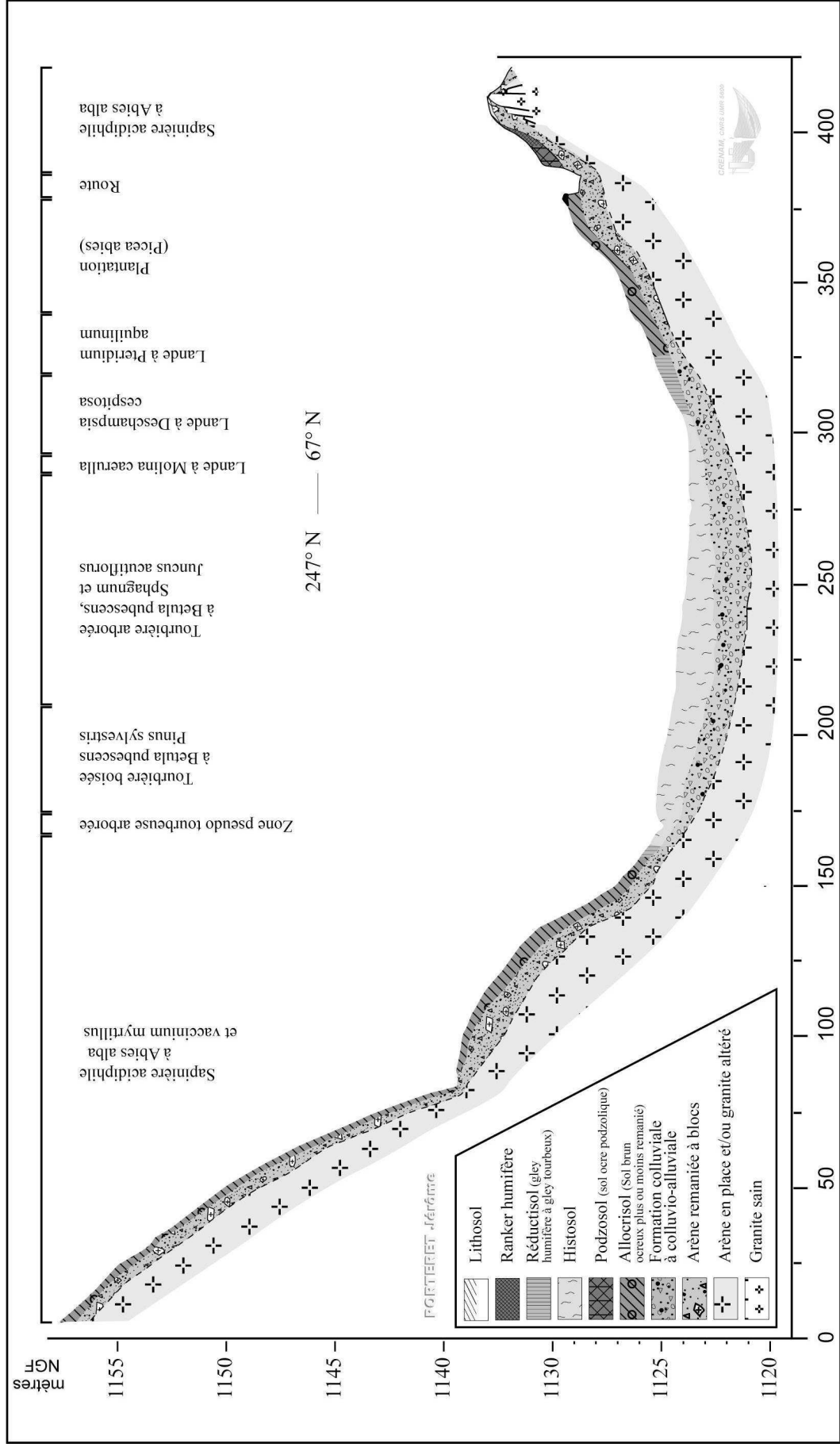
## **LISTE DES FIGURES**

Fig-01	Bassin versant du Chantereine
Fig-02	Contexte géomorphologique, pédologique et végétation
Fig-03	Localisation et altitude des postes climatologiques
Fig-04	Localisation des appareils de mesure
Fig-05	Pluviométrie à la station de Prabouré
Fig-06	Précipitations : juillet 2002 – décembre 2005
Fig-07	Relations entre les niveaux piézométriques
Fig-08	Evolution saisonnière de la relation entre les niveaux piézométriques
Fig-09	Piéзомétrie : septembre 2002 – décembre 2005
Fig-10	Débits du Chantereine et de la Mare
Fig-11	Relations entre les niveaux piézométriques et les paramètres hydro-climatiques
Tab-01	Contexte d'implantation des piézomètres 1 à 12
Tab-02	Equipement du site de la Prenarde
Tab-03	Capacité de stockage de l'eau dans la tourbière de la Prenarde

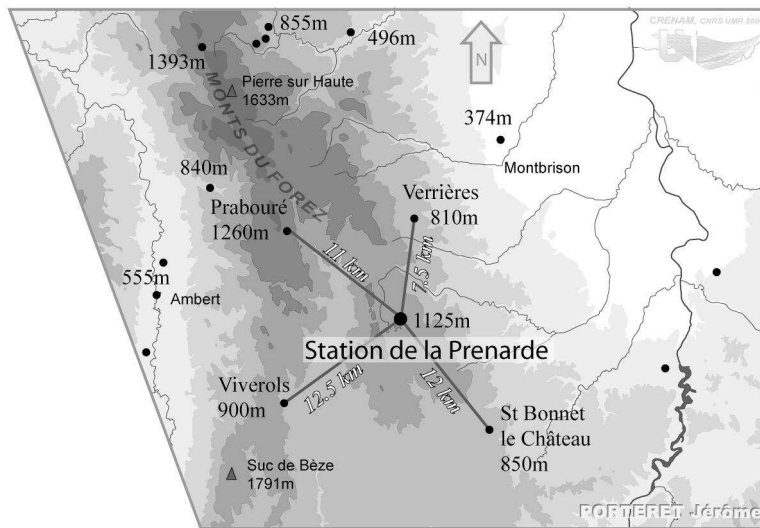
**Fig1 - Bassin versant du Chantereine**  
**Nord-Est du Massif Central**



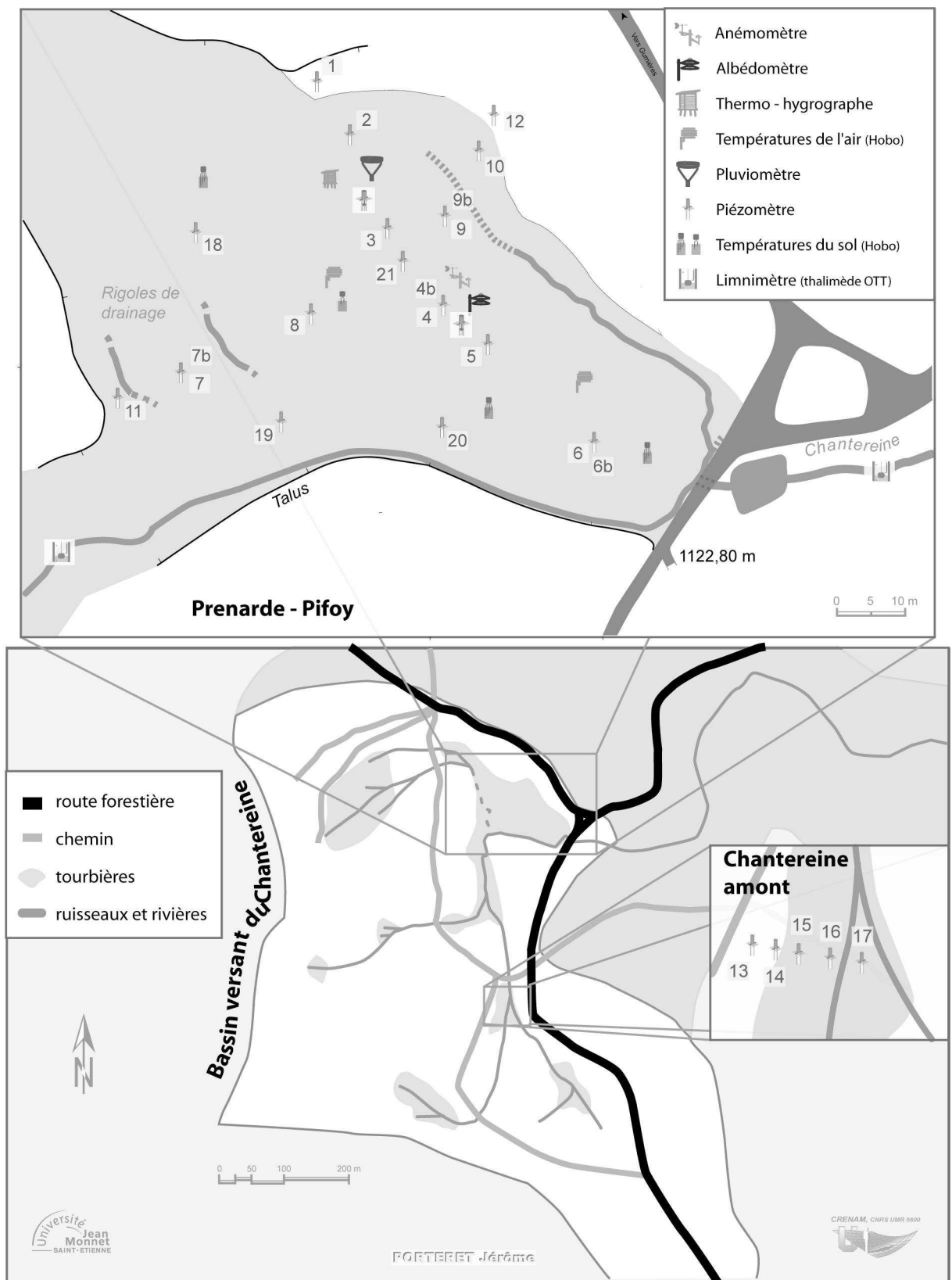
**Fig2- Contexte géomorphologique, pédologique et végétation**  
**Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde**



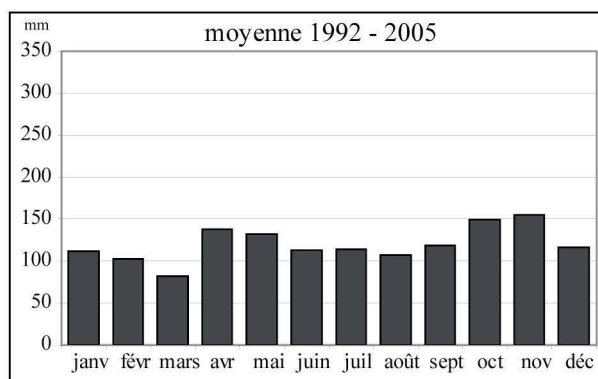
**Fig3 - Localisation et altitude des postes climatologiques  
Nord-Est du Massif Central**



**Fig4 - Localisation des appareils de collecte de données**  
**Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde**

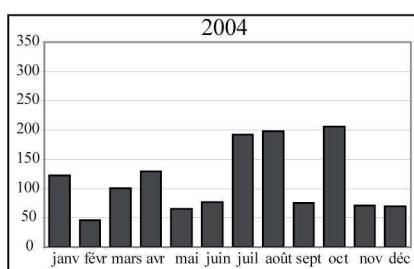


**Fig5 - Pluviométrie à la sation de Prabouré**  
Commune de St Anthème, Monts du Forez

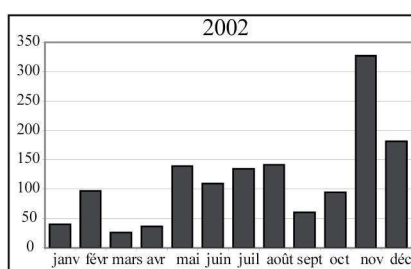


Total des précipitations en mm

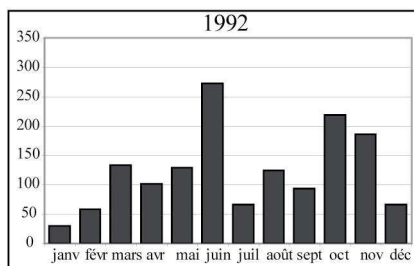
Maximum d'été



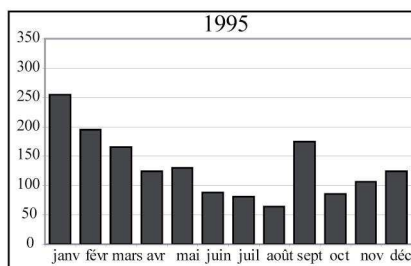
Maximum d'automne



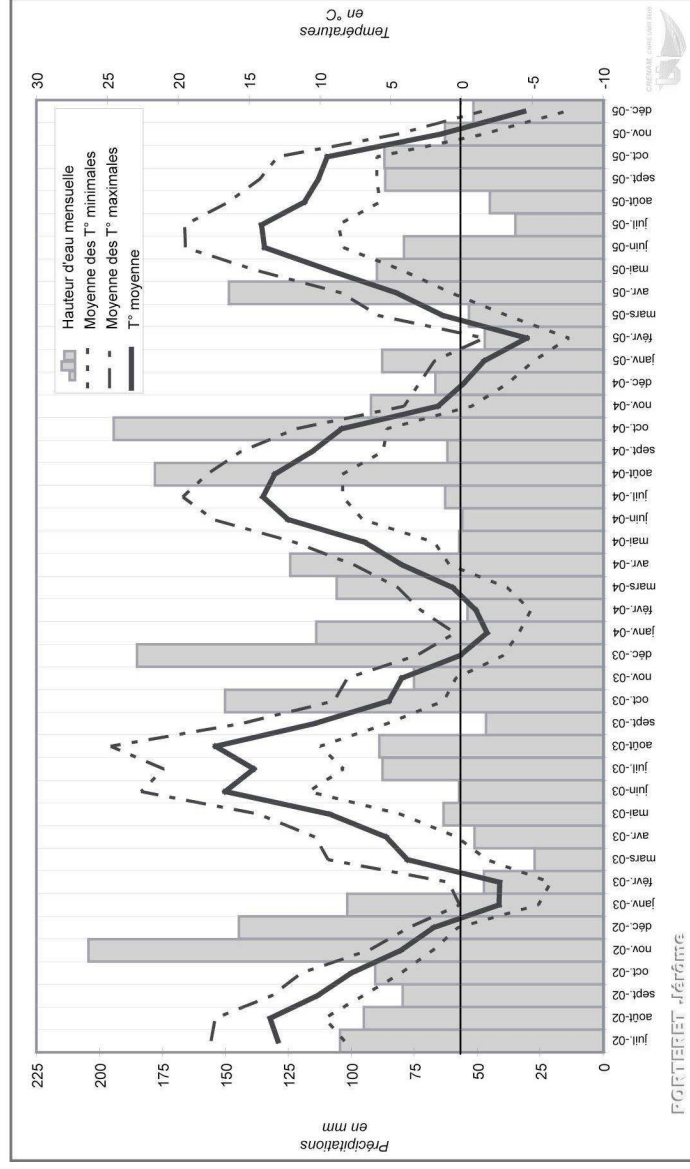
Maximum de printemps



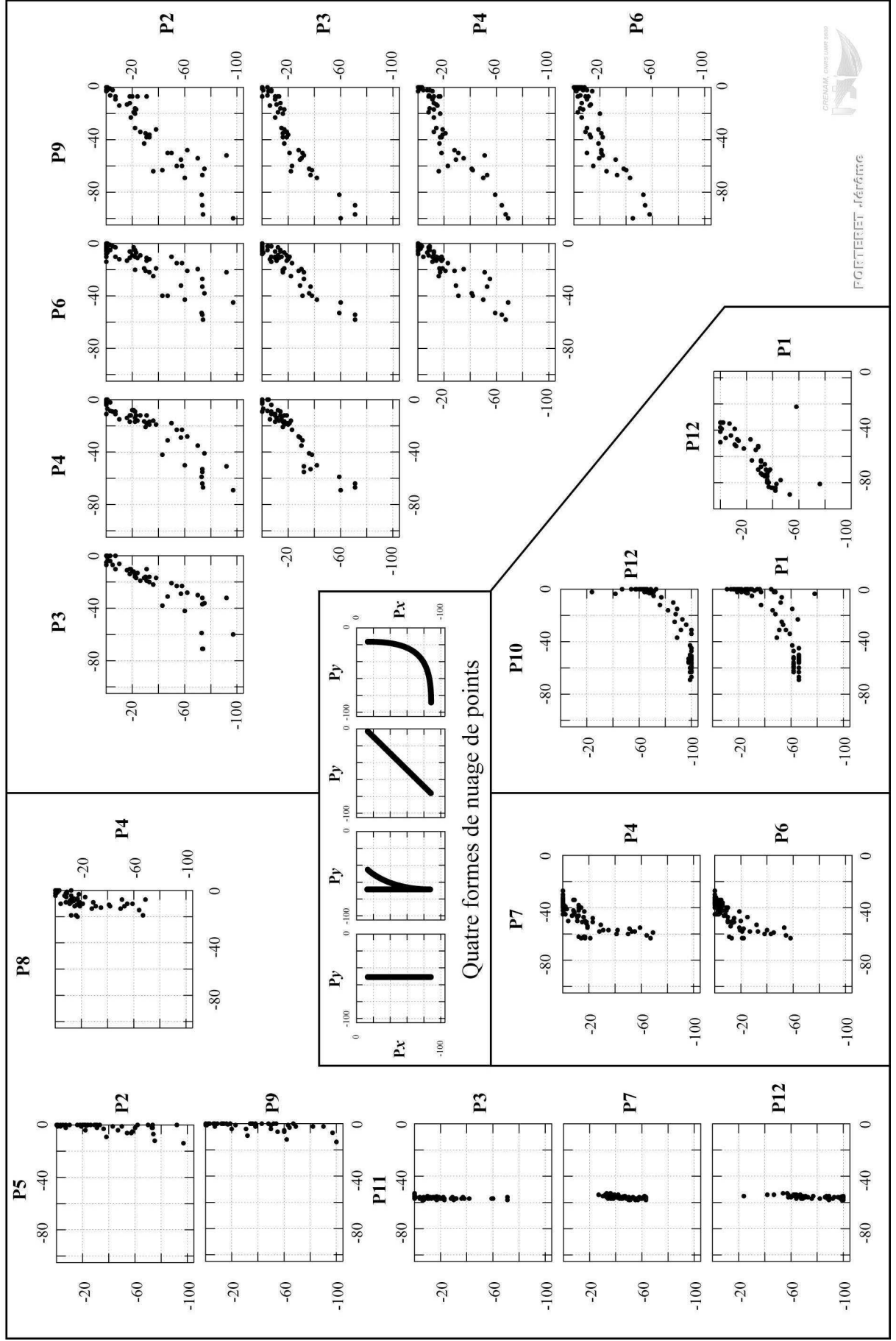
Maximum d'hiver



**Fig6 - Précipitations et températures : juillet 2002 - décembre 2005**  
**Tourbière de la Prenarde, bassin versant du Chantereine**

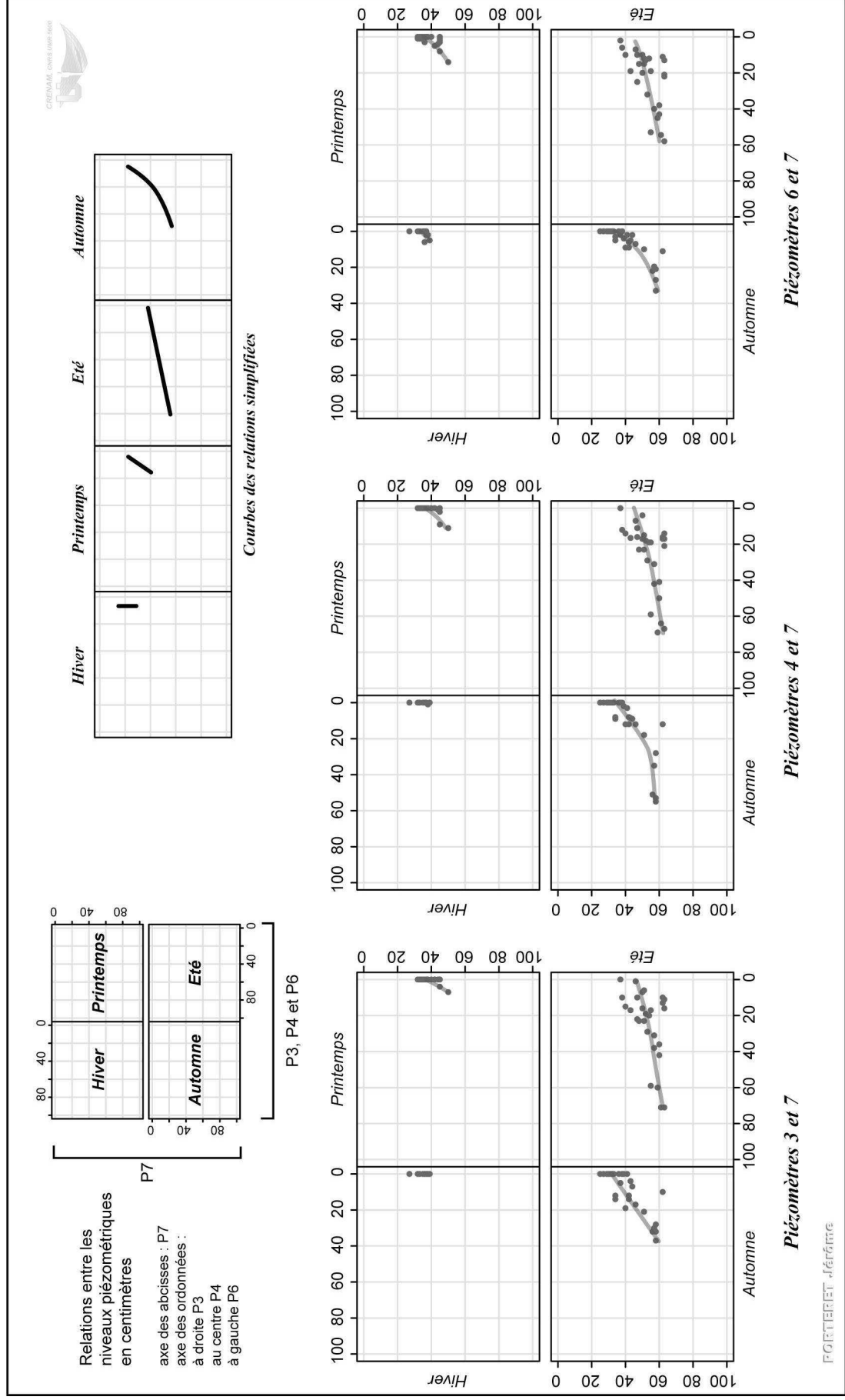


**Fig7- Relations entre les niveaux piézométriques**  
**Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde**

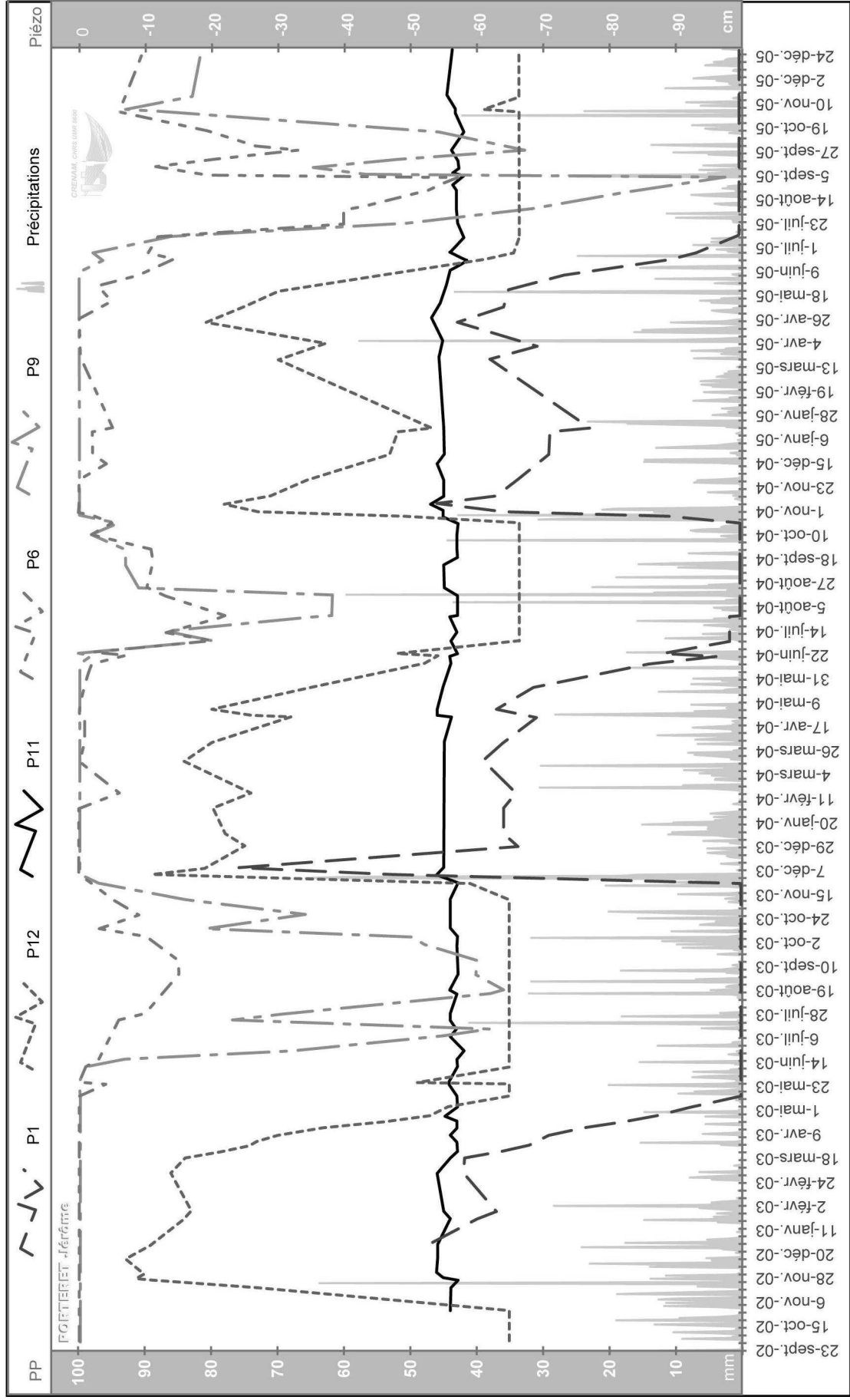




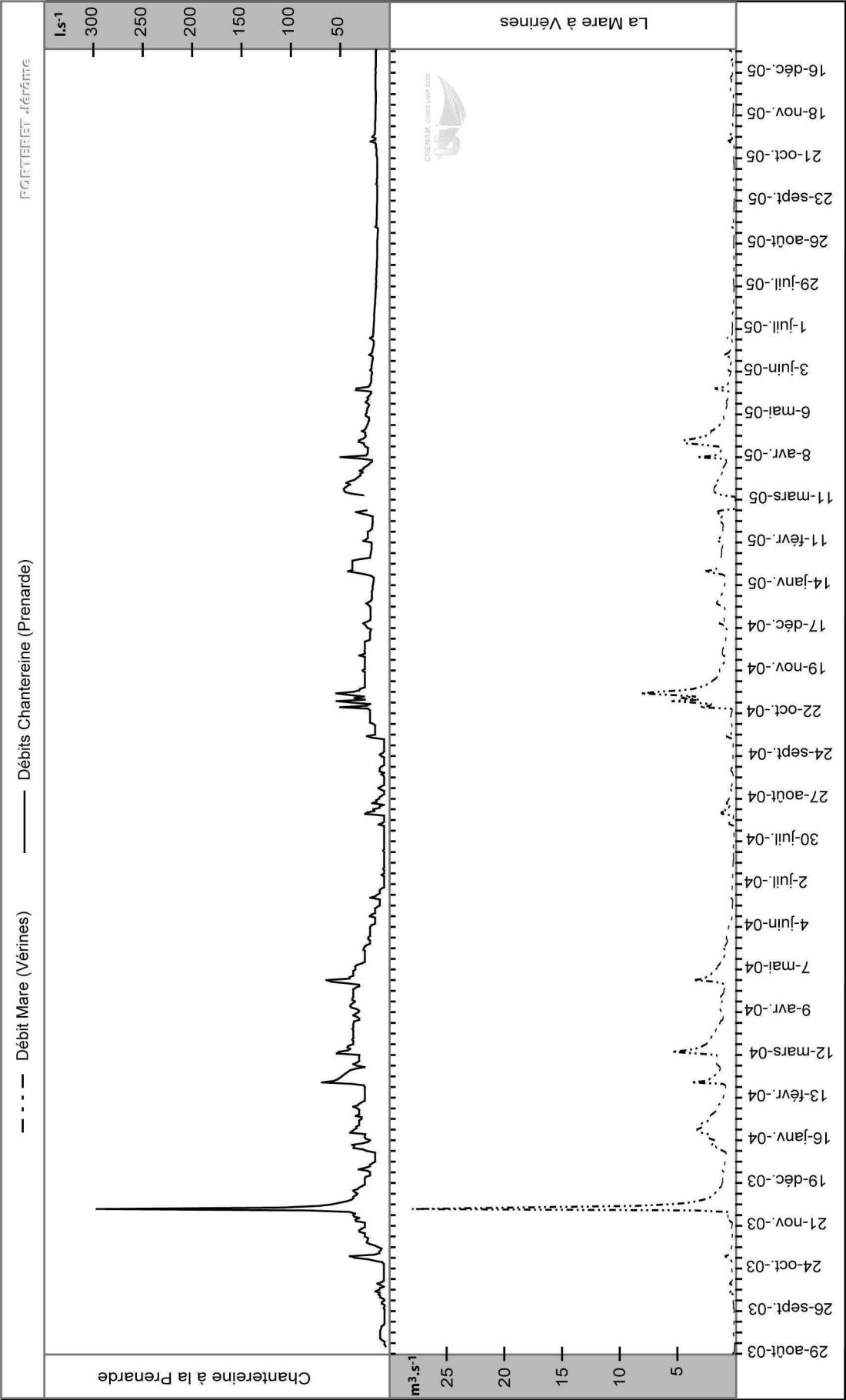
**Fig9 - Evolution saisonnière de la relation entre les niveaux piézométriques**  
 Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde



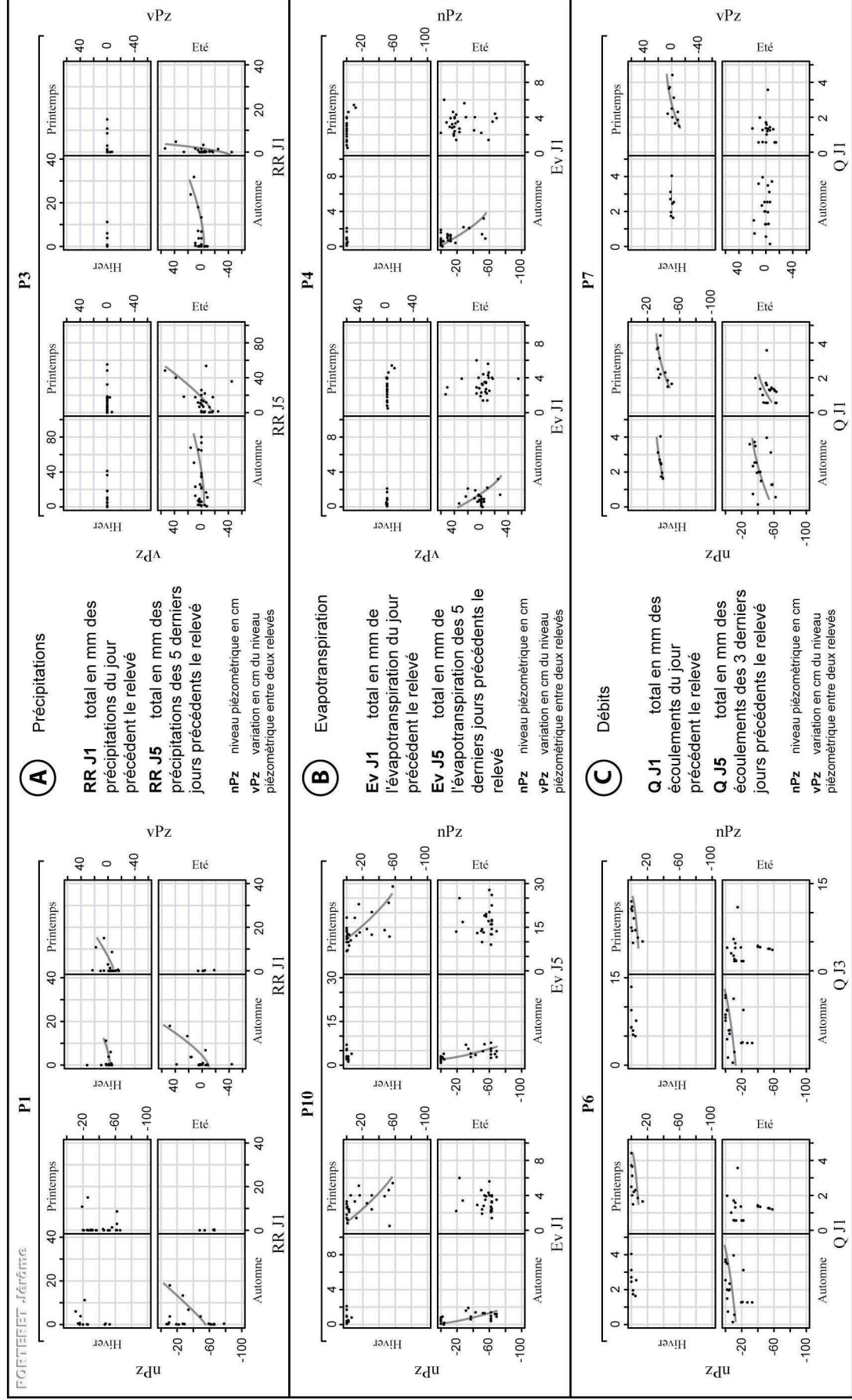
**Fig9 - Piézométrie : septembre 2002 - Décembre 2005**  
 Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde



**Fig10 - Débits du Chantereine et de la Mare**  
**Nord-Est du Massif Central**




**Fig11 -Relations entre les niveaux piézométriques et les paramètres hydro-climatiques**  
 Bassin versant du Chantereine, tourbière de la Prenarde



Tab01 - Contexte d'implantation des piézomètres 1 à 12

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Végétation de surface	Landé à <i>Pteridium aquilinum</i>	Tourbière à <i>Molinia caerulea</i> et <i>Deschampsia cespitosa</i>	Tourbière arborée à <i>Sphagnum</i> et <i>Juncus acutiflorus</i>	Tourbière boisée à <i>Betula pubescens</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Sphagnum</i> et <i>Carex</i>	Tourbière boisée à <i>Pinus sylvestris</i> et <i>Betula pubescens</i>	Tourbière arborée à <i>Betula pubescens</i> , <i>sphagnum</i> et <i>Juncus acutiflorus</i>	Landé à <i>Deschampsia cespitosa</i>	Lisière de la sapinière acidiphile à <i>Abies alba</i> et <i>vaccinium myrtillus</i>	Landé à <i>Deschampsia cespitosa</i>			
Epaisseur de tourbe en cm	0	65	110	180	160	110	120	190	110	40	60	0
Stratigraphie	Sol brun ocreux	T. brune mesique	T. blonde fibrique	T. blonde fibrique	T. blonde fibrique	T. blonde fibrique	T. minéralisé	T. blonde fibrique	T. blonde fibrique	T. noire saprique	T. blonde fibrique	Anthroposol
type de faciès	Arène à blocs	Formation colluviale	T. brune mesique	T. brune mesique	T. brune mesique	T. brune mesique	T. brune mesique	T. brune mesique	T. brune mesique	Gley réduit	T. brune mesique	Formation colluviale
épaisseur de l'horizon en cm			Formation colluviale	T. minérale argileuse	T. fine saprique	Formation colluviale	Formation colluviale	Formation colluviale	Formation colluviale	Formation colluviale	Formation colluviale	
PORTERET Jérôme												

CRÉDITALE CUES 1000 1500





**Tab02**

Massif du Forez, Bassin versant du Chantereine Lambert II étendue - X : 728795 Y : 2057082 85.4 ha - 1150 m d'altitude			
PP		Précipitation	
Date d'installation	1 juillet 2002	Date d'installation	3 septembre 2003
Type de données	papier	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	continue	Pas d'enregistrement	horaire
Tn, Tx, Tm		Température	
Date d'installation	1 juillet 2002	Date d'installation	1 août 2005
Type de données	papier	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	continue	Pas d'enregistrement	horaire
Tn, Tx, Tm		Temp. Hobo	
Date d'installation	31 octobre 2002	Date d'installation	23 septembre 2002
Type de données	numérique	Type de données	relevé opérateur
Pas d'enregistrement	horaire	Commentaire(s)	99 mesures de sept.02 à déc.05
Tn, Tx, Tm		Temp. Sous-bois	
Date d'installation	18 mai 2004	Date d'installation	5 août 2005
Type de données	numérique	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	horaire	Pas d'enregistrement	horaire
Hn, Hx, Hm		Hygrométrie	
Date d'installation	1 juillet 2002	Date d'installation	22 mars 2006
Type de données	papier	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	continue	Pas d'enregistrement	horaire
Rs, Ri, a		Radiation solaire	
Date d'installation	27 septembre 2004	Date d'installation	15 décembre 2004
Type de données	numérique	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	horaire	Pas d'enregistrement	horaire
n		Insolation	
Date d'installation	22 mars 2006	Date d'installation	24 décembre 2004
Type de données	numérique	Type de données	numérique
Pas d'enregistrement	horaire	Pas d'enregistrement	horaire
U <sub>2</sub>		Vent	
Date d'installation	20 janvier 2005		
Type de données	numérique		
Pas d'enregistrement	horaire		

**Tab03**

Capacité de stockage en eau	
Surface de la tourbière	29900 m <sup>2</sup>
Niveau minimum de la nappe	-0.5 m
Volume de l'acrotelme	14950 m <sup>3</sup>
Capacité de stockage	4485 m <sup>3</sup>
soit	29.9 mm

Conductivités hydrauliques	m.s <sup>-1</sup>	cm.j <sup>-1</sup>
Acrotelm	2.50E-06	21.1
Catotelm	3.50E-07	3.1